研究成果展開事業　研究成果最適展開支援プログラム
シーズ育成タイプ　事後評価報告書

研究開発課題名	：	工場排熱を利用した高効率 10kW 熱音響機関発電システムの開発
プロジェクトリーダー 所　属　機　関	：	中央精機株式会社
研　究　責　任　者	：	長谷川　真也（東海大学）

1.　研究開発の目的

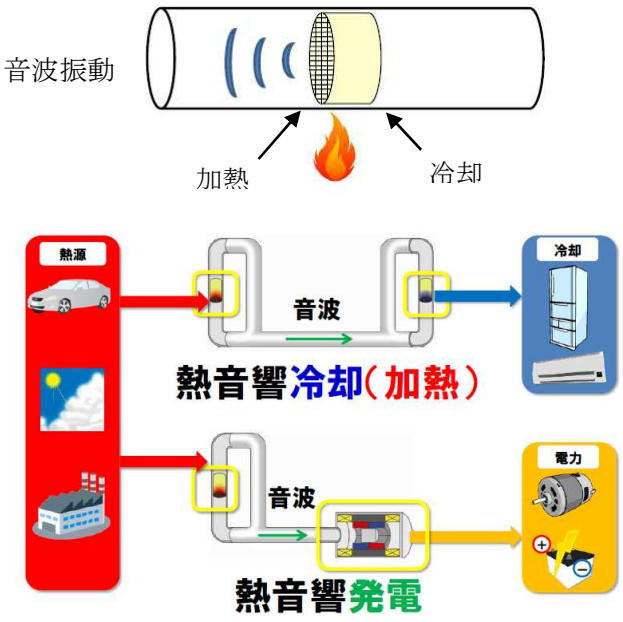
工場等で使用する熱エネルギーのうち、大部分が排熱として棄却されている。研究責任者らは、未利用熱エネルギーの有効利用を目的に「熱音響機関」の開発を進めている。熱音響機関は装置高温部分に可動部品を有することなく、ローコストで排熱を電力へ回生することが可能である。本申請では 300℃以下の工場排熱による 10kW クラス・高効率熱音響発電システムを開発する。

2.　研究開発の概要

熱音響機関の原理を図に示す。

管内に狭い流路の束を設置し、蓄熱器両端の温度比をある臨界値以上にすると、管内の流体が自励振動を起こす。これは熱力学的に原動機と見ることができ、この作用を用いたものが熱音響機関である。熱音響機関は外燃機関であるために、工業排熱、自動車排熱、太陽光エネルギーなど多様な熱源から高効率で仕事を取り出せる可能性がある。また、ピストンなどの可動部品を本質的に必要とせず、安価、長寿命、メンテナンスフリーという利点を有する。更に熱音響現象が可逆サイクルであることを利用し、熱音響エンジンによって発生する音響パワーをもう一方の蓄熱器に供給することで、稼動部品を持たず、可逆的に冷気（熱気）に変換し、冷却（加熱）に変換するなど、発電や冷却への応用が可能である。

図：　熱音響機関のしくみ



① 成果

研究開発目標	成果および達成度
① 熱交換器用排熱回収機構の開発 熱音響ユニット位置における比カルノー効率が40%以上(蓄熱器端面で測定温度250℃以上)	① 常温熱交換器、高温熱交換器に挟まれる形で設置された蓄熱器からなる熱音響ユニットに導波管を連結し、音響ドライバーをコントロールする事で管内の音場を制御し、高温熱交換器入熱方法はプレート式電気ヒーターにて 259.8℃の入熱、常温熱交換器にはチラーを接続し 20.2℃に保ち、熱音響ユニットの前後に圧力センサーを複数本設置し、2センサー法にて音響パワーを計測した。この時、入力された音響パワーが入口側 37.4W に対して出口側 63.9W の結果、放熱影響を除いた場合、増幅率1.7倍、比カルノー効率40.9%。(達成度 100%) ※ 放熱影響を加味した場合は 6.9%
② ループ型熱音響機関の開発 ループ出口位置の音響パワーが 1kW 以上	② 導波管 200A サイズのループ型熱音響機関を用いて、熱音響機関内の圧力は 30 気圧のヘリウムを充填し、高温熱交換器の入熱にはプレート式電気ヒーターにて蓄熱器端部を直流電源の20kW、252.0℃まで加熱、低温熱交換器は水温5℃に設定した循環冷却水で冷却をし、6 本の圧力センサーにて管内音場を計測した結果、ループ出口位置の音響パワーの平均値が 1064.0W、バラつきは±11.1%となった。(達成度 100%)
③ 熱音響機関用発電機の開発 発電効率: 70%以上 発電量: 100W 以上	③ 音響ドライバーに任意の長さの導波管を接続、その中間位置に衝動タービンを配置し前後に圧力センサーを設置した。外部抵抗とタービンの回転数を変化させながら外部抵抗 1.8Ω、衝動タービンの回転数が 4400rpm の時、104W の発電量を測定、音響パワーと出力電力の比にて定義した場合の発電効率は 32%となった。(達成度 70%)
④ 10kW クラス多段熱音響発電システムの開発 発電出力 10kW 以上	④ 元となるループ型熱音響機関において目標となる音響パワー1 kW 以上はほぼ達成出来ており、他、接続する導波管や設備の準備は完了しているが、多段熱音響ユニットの製作が遅れており、作動実験とその評価が未実施となっている。(達成度 50%)
⑤ 充填気体に関する検討 He、Ar、Air を充填気体とした場合の構造と性	⑤ 数値計算を用いて、枝付きループ型熱音響機関の充填気体として He、Ar、N_2、He と Ar の混合

能比較	気体を用いた場合の出力と効率を検証した。その結果、本システムにおいては効果であることを差し引いても、出力、効率、両面を鑑みて、He に優位性が存在した。（達成度 100%）
⑥ 低コスト化に関する検討 熱音響機関の低コスト化 排熱回収機器等周辺機器の低コスト化 保守と整備に関する低コスト化	⑥ 研究開発と並行して新しい構造の検討も合わせて行っており、現時点で考えられる既存部品の流用やメーカー選定等の低コスト化の検討を行った。（達成度 50%）

② 今後の展開

＜熱音響発電システムの製品開発＞

- 低コスト化、安全設計、保守性を考慮した製品企画、製品設計、低コスト化を考慮し、今後も引き続き連携し開発を進める。
- 熱交換器の加熱、冷却部の形状（フィン間隔、流路形状、材質など）を理論検討に基づき最適化する。2段増幅を目標に、熱交換器と蓄熱器で構築されるコア部分を改良し効率 UP を狙う。
- 製品仕様、コスト計画、保守方法・体制、販売計画など製品企画を策定する。
- 製品設計に基づき、量産を前提に詳細設計を行い、量産試作を実施し、製品試験フィールドの評価試験を行う。

＜多段熱音響システムの用途展開と製品化＞

- 熱音響発電システムで、増幅段数、ループ管、枝管の口径、ガス圧などを変化することで数百 W クラスから 10kW オーバークラスの発電システムが期待出来る、様々な熱発生現場を調査し、メニュー拡大を図る。

3. 総合所見

目標の一部が達成できず、実用化に向けては課題が残る。今後の取り組み次第ではイノベーション創出の可能性がある。

最終目標の 10kW クラス多段熱音響発電システムの完成には至らなかったが、2kW クラスについては開発に成功し、インピーダンスマッチング手法など中核技術を実証できたことは評価できる。

今後の開発においては、枝コアの配置、耐熱/耐圧などの構造的課題や入熱方法など周辺技術の課題を解決してほしい。小型機を含めたマーケティングにより商品化ターゲットを具体的に設定し、実用化に繋げることを期待する。